

# APPLICATION UNDER UNITED STATES PATENT LAWS

Atty. Dkt. No. 061063-0306825

Invention: SILICON WAFER AND MANUFACTURING METHOD THEREOF

Inventor (s): Takaaki SHIOTA  
Yoshinobu NAKADA

Address communications to the  
correspondence address  
associated with our Custom r No

00909

Pillsbury Winthrop LLP

This is a:

- ☐ Provisional Application
- ☒ Regular Utility Application
- ☐ Continuing Application
  - ☐ The contents of the parent are incorporated by reference
- ☐ PCT National Phase Application
- ☐ Design Application
- ☐ Reissue Application
- ☐ Plant Application
- ☐ Substitute Specification
  - Sub. Spec Filed \_\_\_\_\_
  - in App. No. \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_
- ☐ Marked up Specification re
  - Sub. Spec. filed \_\_\_\_\_
  - In App. No \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

## SPECIFICATION

## シリコンウェーハおよびその製造方法

## BACKGROUND OF THE INVENTION

## Field of the Invention

本発明は、シリコンウェーハおよびその製造方法に係り、特に、イントリンシックゲッタリング（IG：Intrinsic Gettering）効果に優れたシリコンウェーハの製造に用いて好適な技術に関する。本出願は、特願2002-336690号を基礎出願とし、その内容を取り込むものとする。

## Description of Related Art

CZ（チョクラルスキー）法に従って引き上げることで成長させたシリコン単結晶を加工することにより作製されたシリコンウェーハは、酸素不純物を多く含んでいる。この酸素不純物は、転位や欠陥等を生じさせる酸素析出物（BMD：Bulk Micro Defect）となる。この酸素析出物が、デバイスが形成される表面にある場合、リーク電流の増大や酸化膜耐圧低下等の原因となり、半導体デバイスの特性に大きな影響を及ぼす。

このため、従来では、以下のようにDZ層（無欠陥層）を均一に形成する方法が用いられていた（国際公開第98/38675号パンフレットを参照）。すなわち、シリコンウェーハ表面に対して、1250℃以上の高温で短時間の急速加熱・急冷の熱処理（RTA：Rapid Thermal Annealing）を所定の雰囲気ガス中で施し、シリコンウェーハの内部に高濃度の原子空孔（Vacancy：以下、単に空孔と称す）を形成する。さらに、このシリコンウェーハを急冷することで原子空孔を凍結する。その後、例えば800℃の温度で4時間の熱処理を施し、これに連続して1000℃の温度で16時間の熱処理を施すことで、シリコンウェーハの表面における空孔を外部に拡散させる。

また、上記DZ層を形成した後、上記温度よりも低温の熱処理を施すことにより、シリコンウェーハ内部における酸素析出核の形成および安定化を行って欠陥層を形成し、これにより、ゲッタリング効果を有するBMD層を形成する工程も採用されている。なお、その他の公知文献としては、例えば特開2001-156074号公報がある。

しかしながら、上記熱処理技術では、以下のような課題が残されている。

すなわち、より高いゲッタリング能力を有するシリコンウェーハを得たいという強い要求があるが、BMD一つの大きさが50nm～200nm程度であるという理由により、ゲッタリング能力を高めることが難しいという問題があった。

## SUMMARY OF THE INVENTION

本発明は、上記事情に鑑みてなされたもので、より高いゲッタリング効果を有するシリコンウェーハおよびその製造方法の提供を目的とするものである。

本発明のシリコンウェーハは、スタッキングフォールト核が面内方向全体に分布されるとともに、前記スタッキングフォールト核の密度が $0.5 \times 10^8 \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ の範囲に設定されることにより、上記課題を解決している。

本発明のシリコンウェーハは、上記シリコンウェーハが、格子間シリコン型点欠陥の凝集体および空孔型点欠陥の凝集体が略存在しないパーフェクト領域からなるインゴットから切り出されたものを採用しても良い。

本発明のシリコンウェーハは、上記シリコンウェーハが、空孔型点欠陥が支配的に存在する領域からなるインゴットから切り出されたものを採用しても良い。

本発明のシリコンウェーハの製造方法は、CZ法に従ってルツボ中のシリコン融液から引き上げられるインゴットをスライスして上記シリコンウェーハを製造する方法であって、

引き上げ速度をVとし、ルツボ中のシリコン融液とインゴットとの界面付近におけるインゴットの鉛直方向の温度勾配をGとした場合、これらの比 $V/G$ が、 $0.20 \text{ mm}^2 / ^\circ\text{C} \cdot \text{min} \sim 0.25 \text{ mm}^2 / ^\circ\text{C} \cdot \text{min}$ となるようにして前記インゴットを引き上げる手段か、または、

前記インゴットの引き上げ時に窒素を添加することにより、内部窒素の濃度を $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ の範囲に設定する手段を採用する。

本発明のシリコンウェーハの製造方法は、上記シリコンウェーハを製造する方法であって、

窒素を含む雰囲気ガス中でシリコンウェーハを熱処理することにより、シリコ

ンウェーハの内部に新たに空孔を形成する空孔熱処理工程と、

該空孔熱処理で注入された空孔を利用して酸素を析出させる際に放出する格子間シリコンが凝集してスタッキングフォールト核を形成するS F核熱処理工程と、を有し、

前記S F核熱処理工程における温度を $1100^{\circ}\text{C}$ 以上、昇温速度を $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 以下とするようにしても良い。

上記シリコンウェーハの製造方法で、前記空孔熱処理工程の前に、前記シリコンウェーハの表面の酸化膜を予め除去しておくようにしても良い。

上記シリコンウェーハの製造方法で、前記空孔熱処理工程中に、前記シリコンウェーハ周囲の雰囲気ガスから酸素を除去するパージ処理を行い、該空孔熱処理工程後に、前記シリコンウェーハを急冷するようにしても良い。

本発明における上記シリコンウェーハを製造する方法であるか、または、上記のいずれか記載のシリコンウェーハの製造方法において、

前記シリコンウェーハに熱処理を施すことにより、少なくともシリコンウェーハの表面に無欠陥層を形成するようにしても良い。

本発明のシリコンウェーハは、上記シリコンウェーハの製造方法によって製造されることにより、上記課題を解決している。

本発明においては、I G効果を発揮するスタッキングフォールト（S F：Stacking Fault）もしくはS FとなるS F核を、デバイス製造工程における熱処理等を利用して形成することができる。そして、このS F核を、シリコンウェーハの面内方向の全体に分布させることにより、大きさが $100\text{nm}\sim 200\text{nm}$ 程度であるBMDに比べて最大径寸法が $5\mu\text{m}$ 程度と大きなS Fを、デバイス製造工程の熱処理を利用して形成することが可能なシリコンウェーハを提供することができる。これにより、シリコンウェーハの全面に渡り、BMDに比べて高いI G効果を得ることが可能となる。

このとき、S F核の密度を $0.5\times 10^8\text{cm}^{-3}\sim 10^{11}\text{cm}^{-3}$ に設定することが好ましい。S F核の密度が $0.5\times 10^8\text{cm}^{-3}$ より小さく設定した場合には、望ましいI G効果を十分に得ることができないため、好ましくない。また、S F核の密度が $1\times 10^{11}\text{cm}^{-3}$ よりも大きく設定した場合には、シリコンウェーハ

の機械的強度が充分でなくなるため、好ましくない。

また、本発明では、引き上げ速度 $V$ と温度勾配 $G$ との比 $V/G$ が、 $0.20 \text{ m}^2/\text{°C}\cdot\text{min} \sim 0.25 \text{ m}^2/\text{°C}\cdot\text{min}$ を満足するようにしてシリコンインゴットを引き上げ、このインゴットからシリコンウェーハを切り出す。この場合、上記のようにSF核の密度を $0.5 \times 10^8 \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ に設定するとともに、このSF核を、シリコンウェーハの面内方向の全体に分布させることができるようになる。これにより、シリコンウェーハの全面に渡り、BMDに比べて高いIG効果を有するシリコンウェーハを提供することが可能となる。

また、本発明では、引き上げ時に窒素を添加（ドーブ）して内部窒素の濃度を $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ の範囲にしたインゴットからシリコンウェーハを切り出す。この場合、上記のようにSF核の密度を $0.5 \times 10^8 \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ に設定するとともに、SF核をシリコンウェーハの面内方向の全体に分布させることができる。従って、シリコンウェーハの全面に渡り、BMDに比べて高いIG効果を有するシリコンウェーハを提供することが可能となる。

さらに、本発明では、 $\text{N}_2$ あるいは $\text{NH}_3$ 等の窒素を含む雰囲気ガス中でシリコンウェーハを熱処理することによりシリコンウェーハの内部に新たに空孔を形成する空孔熱処理工程と、SF核を形成するSF核熱処理工程とを有する。この場合、上記のようにSF核の密度を $0.5 \times 10^8 \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ に設定するとともに、このSF核をシリコンウェーハの面内方向の全体に分布させることができる。従って、シリコンウェーハの全面に渡り、BMDに比べて高いIG効果を有するシリコンウェーハを提供することが可能となる。

上記空孔熱処理工程においては、例えば、窒素を含む雰囲気ガスとして $\text{NH}_3$ を採用するとともに熱処理温度を $1135^\circ\text{C}$ から $1170^\circ\text{C}$ の範囲内とするか、または、窒素を含む雰囲気ガスとして $\text{N}_2$ を採用するとともに熱処理温度を $1250^\circ\text{C}$ 以上とすることができる。この状態で、短時間の急速加熱・急冷の熱処理（RTA）を施すことにより、内部に高濃度の空孔（Vacancy）を形成する。さらに、この高濃度の空孔を急冷により凍結した後、前記SF核熱処理工程として、温度が $1100^\circ\text{C}$ 以上で昇温速度が $10^\circ\text{C}/\text{min}$ 以下に設定する熱処理を行う

ことができる。

ここで、前記S F核の熱処理工程の温度を $1100^{\circ}\text{C}$ 以下とした場合には、過飽和の空孔を利用して酸素を析出させる際に放出される格子間シリコンが充分でないため、凝集してS F核を形成することができなくなり、好ましくない。また、昇温速度を $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 以上に設定した場合には、過飽和の空孔を利用して酸素を充分に析出させることができない。その結果として、酸素を析出させる際に放出される格子間シリコンが凝集してS F核を形成することができなくなり、好ましくない。

また、前記シリコンウェーハに熱処理を施して、少なくとも表面に無欠陥層を形成することができる。この場合、デバイス形成領域において、リーク等のない良好な半導体デバイスの特性を有するシリコンウェーハを得ることができる。

本発明のシリコンウェーハにおいては、上記製造方法を用いて製造したことにより、デバイス形成領域においてリーク等のない良好な半導体デバイスの特性を有する、シリコンウェーハを提供することができる。

本発明のシリコンウェーハおよびその製造方法によれば、S F核の密度を $0.5 \times 10^8 \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ に設定するとともに、このS F核をシリコンウェーハの面内方向の全体に分布させることにより、シリコンウェーハの全面に渡り、BMDに比べて高いIG効果を有するシリコンウェーハを提供することが可能となる。

#### BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

図1は、本発明のシリコンウェーハおよびその製造方法の第1実施形態で用いられる熱処理炉を示す、全体構成を概略的に示す断面図である。

図2は、ボロンコフの理論に基づき、 $V/G$ 比が臨界点以上で空孔豊富インゴットが形成され、 $V/G$ 比が臨界点以下で格子間シリコン豊富インゴットが形成されることを示す図である。

図3A及び図3Bは、本発明のシリコンウェーハおよびその製造方法の第1実施形態におけるシリコンウェーハを示す断面図である。すなわち、図3Aは、空孔形成のための空孔熱処理後の状態を示し、図3Bは、その後の熱処理後の状態

を示している。

図4 A及び図4 Bは、シリコンウェーハを示す平面図である。すなわち、図4 Aは、OSFリングが出現した状態を示す図であり、図4 Bは、全面がSF核領域となる本発明を示す。

図5 A及び図5 Bは、ゲッタリング効果を示すシリコンウェーハの断面図である。そして、図5 Aは、BMDのみの場合を示し、図5 Bは、本発明におけるSF形成後を示す。

## DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

### [第1実施形態]

以下、本発明に係るシリコンウェーハおよびその製造方法の第1実施形態を、図面に基づいて説明する。

図1は、本実施形態のシリコンウェーハの製造方法を実施するための枚葉式の熱処理炉を示すものである。図2は、ボロンコフの理論に基づきV/G比が臨界点以上で空孔豊富インゴットが形成され、V/G比が臨界点以下で格子間シリコン豊富インゴットが形成されることを示す図である。図3 A及び図3 Bは、本実施形態におけるシリコンウェーハを示す断面図であり、図3 Aは、空孔形成のための空孔熱処理後の状態を示し、図3 Bは、その後の熱処理後の状態を示している。図4 A及び図4 Bは、シリコンウェーハを示す平面図であり、図4 Aは、OSFリングが出現した状態を示す図であり、図4 Bは、全面がSF核領域となる本発明を示す。図5 A及び図5 Bは、ゲッタリング効果を示すシリコンウェーハの断面図であり、図5 Aは、BMDのみの場合を示し、図5 Bは、本発明におけるSF形成後を示す。

以上の図において、符号Wはシリコンウェーハ、符号1はサセプタ、符号2は反応室を示している。

図1に示す熱処理炉は、シリコンウェーハWを載置可能な円環状のサセプタ1と、該サセプタ1を内部に収納した反応室2とを備えている。なお、反応室2の外部には、シリコンウェーハWを加熱するランプ（図示略）が配置されている。

サセプタ1は、シリコンカーバイド等で形成されている。そして、サセプタ1

の内側には段部 1 a が設けられており、この段部 1 a 上にシリコンウェーハ W の周縁部を載置するようになっている。

反応室 2 には、シリコンウェーハ W の表面に雰囲気ガス G を供給する供給口 2 a と、供給された雰囲気ガス G を排出する排出口 2 b とが設けられている。

また、供給口 2 a は、雰囲気ガス G の供給源（図示略）に接続されている。

また、雰囲気ガス G としては、 $\text{NH}_3$  を主成分とする雰囲気ガス G が採用されている。

シリコン単結晶インゴット内で、格子間シリコン型点欠陥が支配的に存在する領域を〔I〕とし、空孔型点欠陥が支配的に存在する領域を〔V〕とし、格子間シリコン型点欠陥の凝集体および空孔型点欠陥の凝集体が存在しないパーフェクト領域を〔P〕とした場合、上記シリコンウェーハ W は、パーフェクト領域〔P〕からなるインゴットから切り出された、点欠陥の凝集体が存在しないシリコンウェーハである。なお、空孔型点欠陥は、一つの正常なシリコン結晶格子から一つのシリコン原子が離脱した際に形成される空孔による欠陥である。また、格子間シリコン点欠陥は、原子がシリコン結晶の格子点以外の位置（インタースチシャルサイト）にある場合の欠陥をいう。

すなわち、このパーフェクト領域〔P〕からなるシリコンウェーハは、例えば特開平 1-1393 号公報に提案されているように、CZ 法によりホットゾーン内のシリコン融液からインゴットをボロンコフ(Voronkov)理論に基づいた引き上げ速度プロファイルで引き上げ、このインゴットをスライスすることにより製作される。

このインゴットは、引き上げ速度を  $V$  (mm/分) とし、ルツボ中のシリコン融液とインゴットとの界面近傍におけるインゴット鉛直方向の温度勾配を  $G$  ( $^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ ) とした場合、熱酸化処理時に発生するリング状の O S F (Oxidation Induced Stacking Fault ; 酸素誘起積層欠陥) がシリコンウェーハの中心部で消滅するように  $V/G$  ( $\text{mm}^2/^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}$ ) の値を決めて作られる。

上記ボロンコフ理論では、図 2 に示すように、 $V/G$  比を横軸にとり、空孔型点欠陥濃度と格子間シリコン型欠陥濃度とを同一の縦軸にとり、 $V/G$  比と点欠陥濃度との関係を図式的に表現し、これに基づき、空孔領域と格子間シリコン領



域との境界が $V/G$ 比によって決定されることを説明している。より詳しくは、 $V/G$ 比が臨界点以上では空孔型点欠陥濃度が優勢なインゴットが形成される。一方、 $V/G$ 比が臨界点以上では格子間シリコン型点欠陥濃度が優勢なインゴットが形成される。図2において、符号〔I〕は、格子間シリコン型点欠陥が支配的であるとともに、格子間シリコン点欠陥が存在する領域（ $(V/G)_1$ 以下）を示している。また、符号〔V〕は、インゴット内での空孔型点欠陥が支配的であるとともに、空孔型点欠陥の凝集体が存在する領域（ $(V/G)_2$ 以下）を示している。また、符号〔P〕は、空孔型点欠陥の凝集体および格子間シリコン型点欠陥の凝集体が存在しないパーフェクト領域（ $(V/G)_1 \sim (V/G)_2$ ）を示す。領域〔P〕に隣接する領域〔V〕にはOSF核を形成する領域〔OSF〕（ $(V/G)_2 \sim (V/G)_3$ ）が存在する。

したがって、シリコンウェーハに供されるインゴットの引き上げ速度プロファイルは、インゴットがホットゾーン内のシリコン融液から引き上げられる時、温度勾配に対する引き上げ速度の比（ $V/G$ ）が、格子間シリコン型点欠陥の凝集体の発生を防止する第1臨界比（ $(V/G)_1$ ）以上であって、空孔型点欠陥の凝集体をインゴットの中央にある空孔型点欠陥が支配的に存在する領域内に制限する第2臨界比（ $(V/G)_2$ ）以下に維持されるように決められる。

この引き上げ速度のプロファイルは、基準インゴットを軸方向にスライスする実験や、シミュレーションを行うとともに上記ボロンコフ理論に基づいて決定される。

なお、COP（結晶に起因したパーティクル:Crystal Originated Particle）等の点欠陥の凝集体は、その検出方法によって検出感度、検出下限値が異なる値を示す場合がある。そのため、本発明における「点欠陥の凝集体が存在しない」という意味は、鏡面加工されたシリコン単結晶に無攪拌セコエッチングを施した後、観察面積とエッチング取り代との積を検査体積として光学顕微鏡で観察した場合に、フローパターン（空孔型欠陥）および転位クラスタ（格子間シリコン型点欠陥）の各凝集体が $1 \times 10^{-3} \text{ cm}^3$ の検査体積に対して1個の欠陥が検出された場合を検出下限値（ $1 \times 10^3 \text{ 個} / \text{cm}^3$ ）とするとき、点欠陥の凝集体の数が上記検出下限値以下であることを示す。

上記熱処理炉を用いて雰囲気ガスG中でシリコンウェーハWをRTA処理（熱処理）し、内部に新たに空孔を形成する方法と、このウェーハWの表層にさらにDZ層（Denuded Zone：無欠陥層）を形成するとともに内部にSF層を形成する熱処理を施す方法とについて、以下に説明する。

まず、空孔を注入するためのRTA処理を行う前に、シリコンウェーハWの表面に形成されている自然酸化膜や他の処理などで形成された酸化膜を、予め除去又は薄膜化しておくことが好ましい。すなわち、熱処理前のシリコンウェーハWをフッ酸などで洗浄することで、表面窒化の妨げとなる表面の酸化膜を予め除去しておく。

上記熱処理炉を用いて、シリコンウェーハWに空孔熱処理としてRTA処理（急加熱および急冷却の熱処理）を施すには、サセプタ1にシリコンウェーハWを載置した後、供給口2aから上記雰囲気ガスGをシリコンウェーハWの表面に供給した状態で、1135℃から1170℃までの範囲の熱処理温度かつ1secから60secまでの範囲の熱処理時間（例えば、10sec）で、短時間の急速加熱・急冷（例えば、50℃/秒の昇温、70℃/秒の降温）の熱処理を行う。

なお、上記熱処理では、まず、800℃までの昇温を行う前に、Arのみを雰囲気ガスとして高い流量で供給することにより、熱処理炉内の雰囲気ガスを置換して酸素を除去するパージ処理を行う。酸素が完全に炉内から除去された状態で、次に、Arのみを雰囲気ガスとして所定流量で供給しながら800℃まで昇温する。

次に、NH<sub>3</sub>を所定流量で熱処理炉に導入し、ArとNH<sub>3</sub>との混合ガスを雰囲気ガスとして供給しながら、800℃から所定の熱処理温度（例えば、1150℃）まで急速加熱昇温を行う。さらに、熱処理温度一定のまま所定時間の間、熱処理を行い、その後800℃まで急冷する。

その後、800℃一定の熱処理温度の状態で、NH<sub>3</sub>が完全に排出されるまでArのみを雰囲気ガスとして流量を上げて供給する。そして、NH<sub>3</sub>が完全に排出完了した後、再びArのみの雰囲気ガス中で降温する。このように、昇温時の途中から急冷降温時の途中まで、NH<sub>3</sub>を含む雰囲気ガスGを雰囲気ガスとして供給する。

なお、上記熱処理後、ウェーハWを熱処理炉から取り出すことにより急冷する。この時、上記パージ時の熱処理（800℃）および取り出し時の急冷効果により、内部の酸素ドナーを消去することができる。

上記空孔熱処理により、シリコンウェーハWの表面は、 $N_2$ を主とする雰囲気ガスを用いる場合に比べて、低い熱処理温度でも表面を窒化、すなわち窒化膜あるいは酸窒化膜を形成することができる。したがって、図3Aに示すように、内部（特に表面近傍）に空孔（Vacancy）Vを十分に注入することができる。

さらに、上記空孔熱処理（RTA処理）後に、熱処理炉等で、空孔と格子間酸素により酸素析出を行う。これにより、発生した拡散しやすくなった格子間シリコンを凝集してSF核を形成するためのSF核熱処理を施す。

このときの熱処理温度は1100℃以上で1時間程度に設定するとともに、その際の昇温速度が10℃/min以下であるように設定する。このように設定することにより、図4Bに示すように、元々SF核が発生しないパーフェクトな領域に対しても、SF核が分布するSF核領域SFを、シリコンウェーハWの面内方向の全体に分布させることができるとともに、このSF核の密度を $0.5 \times 10^8 \sim 1 \times 10^{11}$ 個/cm<sup>3</sup>に設定することができる。

ここで、前記SF核熱処理工程の温度を1100℃以下とした場合には、過飽和の空孔を利用して酸素を析出させる際に放出される格子間シリコンが充分でないため、凝集してSF核を形成することができず、好ましくない。また、前記SF核熱処理工程の温度を1時間より短くした場合には、過飽和の空孔を利用して酸素を析出させる際に放出される格子間シリコンが充分でないため、凝集してSF核を形成することができず、好ましくない。また、昇温速度を10℃/min以上に設定した場合には、空孔から酸素を充分に析出させることができず、結果として、析出させる際に放出する格子間シリコンが凝集してSF核を形成できないため、好ましくない。

上記の空孔熱処理工程の後、DZ層熱処理（例えば、800℃で4時間の熱処理に連続して1000℃で16時間の熱処理）を熱処理炉等で施す。すると、図3Bに示すように、表層では、空孔の外方拡散と酸化膜形成が行われる。これにより、注入された空孔と格子間Siによる対消滅が起こる。これにより、DZ層

DZが形成される。また、内部（特に表面近傍）では、高SF核密度のSF核層Sを形成することもできる。

なお、上記DZ層形成のためだけの熱処理を行わずに、その後のデバイス作製工程で行われる熱処理を、DZ層熱処理として利用するものとしても良い。

このように本実施形態では、シリコンウェーハWに、空孔熱処理、SF核熱処理を行っているので、SF核分布密度を上記の状態及び範囲にすることができる。

すなわち、図5Aに示すシリコンウェーハW中の黒点に示すように、大きさが50nm～200nm程度であるBMDの代わりに、図5Bの符号SFに示すように、最大径寸法長さが5μm程度であるスタッキングフォールトSFを形成することが可能なSF核を形成することができる。したがって、シリコンウェーハWの全面に渡り、BMDのみをゲッタリング源とする場合に比べて高いIG効果を有するシリコンウェーハを提供することが可能となる。同時に、シリコンウェーハの中間部分において高強度が得られるので、シリコンウェーハ全体として要望される十分な強度を得ることができる。

なお、本実施形態においては、パーフェクト領域〔P〕からなるインゴットから切り出されたシリコンウェーハを使用したか、これ以外の領域のシリコンウェーハを適用することもできる。

## 〔第2実施形態〕

以下、本発明のシリコンウェーハおよびその製造方法の第2実施形態を、図面に基づいて説明する。

本実施形態のシリコンウェーハは、前述した第1実施形態と同様に、SF核の密度が $0.5 \times 10^8 \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ に設定されるとともに、このSF核がシリコンウェーハWの面内方向の全体に分布している。

前述したように、シリコン単結晶インゴット内で、格子間シリコン型点欠陥が支配的に存在する領域を〔I〕とし、空孔型点欠陥が支配的に存在する領域を〔V〕とし、格子間シリコン型点欠陥の凝集体および空孔型点欠陥の凝集体が存在しないパーフェクト領域を〔P〕とした場合、本実施形態のシリコンウェーハWは、空孔型点欠陥が支配的に存在する領域〔V〕からなるインゴットをスライスして切り出されたものである。

このインゴットは、CZ法により、ホットゾーン内のシリコン融液からボロニコフ（Voronkov）理論に基づく引き上げ速度プロファイルで引き上げられたものである。

具体的には、このインゴットの引き上げ速度 $V$ （mm/min）と、ルツボ中のシリコン融液及びインゴット間の界面近傍におけるインゴット鉛直方向の温度勾配 $G$ （℃/mm）との比 $V/G$ の値が、 $0.20\text{ mm}^2/\text{℃}\cdot\text{min}\sim 0.25\text{ mm}^2/\text{℃}\cdot\text{min}$ となるように設定する。これは、図2における $(V/G)_2\sim (V/G)_3$ の範囲にあたるものである。

上記の引き上げ速度プロファイルにてインゴットを引き上げるために、次のような引き上げ装置を用いる。この引き上げ装置は、中空の気密容器であるチャンバ内に、該チャンバの中央下部に垂直に立設されて上下動可能なシャフトと、該シャフト上に載置されたサセプタと、該サセプタ上に載置されて支持され、シリコンの融液を貯留する石英（ $\text{SiO}_2$ ）製のルツボと、該ルツボの外周に所定距離離間して配されたヒータと、該ヒータの周囲に配された保温筒とを配置して構成されている。

また、この引き上げ装置は、ルツボの上方に、該ルツボと同軸に配置された略円筒状のフロー管と、保温筒の上部に取り付けられてフロー管を支持する円環状のアップパーリングとを備えている。

次に、このような引き上げ装置による引き上げ方法について説明する。

まず、フロー管からアルゴンガスを供給するとともに、ヒータに通電してルツボ内のシリコン原料を熔融して融液とする。そして、この融液の中央液面付近の温度を、単結晶成長温度に保つ。

次に、引き上げワイヤにより吊り下げられた種結晶を下降させて融液に浸してなじませ、いわゆるネッキングによる無転位化を行う。その後、ルツボと引き上げワイヤとを互いに反対に回転させながらインゴットの引き上げ成長を始める。すなわち、ネッキング後にインゴットの肩部を成長させ、その後、定型部を引き上げ成長させていく。このとき、上述した $V/G$ 比となるように設定する。

ここで、図2に示す $(V/G)_2\sim (V/G)_3$ の領域は、ウェーハ面内でCOPもLDも発生していない領域であるが、この領域の引き上げ速度プロファイルでは、

シリコンウェーハ $W_1$ の半径 $1/2$ 付近にSF核がリング状に形成されるのみである。これは、シリコンウェーハ $W_1$ に対して、従来のOSF顕在化熱処理に従い、酸素雰囲気下において $1000^{\circ}\text{C} \pm 30^{\circ}\text{C}$ の温度で2時間～5時間熱処理し、引続き $1130^{\circ}\text{C} \pm 30^{\circ}\text{C}$ の温度で1時間～16時間熱処理した場合、OSFを生じるが、図4Aに示すように、シリコンウェーハ $W_1$ の半径の $1/2$ 付近にしかOSFリングが発生しないことから確認できる。

これに対し、本実施形態では、シリコンウェーハ $W$ の製造に用いられるシリコンインゴットの引き上げ速度プロファイルを、上記の範囲に設定してシリコンインゴットを引き上げ、このシリコンインゴットからシリコンウェーハを切り出すようにしている。これにより、SF核の密度を $0.5 \times 10^8 \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ に設定するとともに、図4Bに示すように、SF核をシリコンウェーハ $W$ の面内方向の全体に分布させることができる。従って、上記第1実施形態と同様に、シリコンウェーハ $W$ の全面に渡り、BMDに比べて高いIG効果を有するシリコンウェーハ $W$ を提供することが可能となる。

#### [第3実施形態]

以下、本発明に係るシリコンウェーハおよびその製造方法の第3実施形態を、図面に基づいて説明する。

本実施形態のシリコンウェーハは、前述した第1実施形態と同様に、SF核の密度が $0.5 \times 10^8 \text{ cm}^{-2} \sim 1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ に設定されるとともに、図4Bに示すように、このSF核がシリコンウェーハの面内方向の全体に分布されている。

本発明において、窒素濃度が $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ の範囲にされたインゴットからシリコンウェーハを切り出すことにより、上記のようにSF核分布及び密度を設定することができる。

具体的には、前述の第2実施形態におけるインゴット引き上げにおける引き上げ装置において、ルツボ内のシリコン原料に不純物（ドーパント）としてシリコンナイトライド $\text{Si}_3\text{N}_4$ を投入したり、窒素ガス $\text{N}_2$ を融液に吹き付ける等により窒素雰囲気中で引き上げを行う。これにより、不純物として窒素を添加（ドーピング）し、インゴット中の窒素濃度を上記のように設定する。

金属汚染を避けるため、高純度Siウェーハ上に形成された半導体グレード材

料ガスを用いて、 $\phi 200\text{ mm}$ のシリコンウェーハに $1\text{ mm}$ 程度の厚みで $\text{Si}_3\text{N}_4$ 薄膜を成膜することが好ましい。

このように、本実施形態においては、インゴットの引き上げ時に窒素ドーピングを行って、このインゴットからシリコンウェーハを切り出す。これにより、SF核の密度を $0.5 \times 10^8 \sim 1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ に設定するとともに、図4Bに示すように、このSF核をシリコンウェーハの面内方向の全体に分布させることができる。従って、前述の第1実施形態及び第2実施形態と同様に、シリコンウェーハの全面に渡り、BMDに比べて高いIG効果を有するシリコンウェーハを提供することが可能となる。

なお、上記各実施形態において、空孔熱処理+SF核熱処理、引き上げ速度プロフィール、窒素ドーピングをそれぞれ2種類または3種類組み合わせてシリコンウェーハWを製造することも可能である。

また、各実施形態において、前述の第1実施形態のように、DZ層形成のための熱処理を施すことが可能である。